

## РАСЧЕТ ЭКРАННОЙ ИЗОЛЯЦИИ

**Кандидаты техн. наук, доценты КРАВЦОВ С. Ф., БРАТУТА Э. Г.,  
АКМЕН Р. Г.**

*Харьковский ордена Ленина политехнический институт имени В. И. Ленина*

Расчет экранной изоляции из металлических листов, сводится к определению температуры отдельных элементов системы, включающей изолируемое тело, экраны, защитный корпус.

В ряде работ расчет многоэкранной изоляции выполняется аналитически. Так, в [1] используется метод последовательных приближений. В [2] задача о нестационарном распределении температуры в экранной изоляции сводится к задаче нестационарной теплопроводности сплошного тела (плоского, цилиндрического, сферического слоя) с эквивалентным коэффициентом теплопроводности, величина которого выбирается из условий стационарного состояния. Необходимость рассмотрения многослойных стенок, вызванная непостоянством эквивалентного коэффициента теплопроводности, значительно усложняет задачу.

В настоящей работе предлагается приближенный метод численного решения задачи о нестационарном температурном поле многослойной изоляции, рассматриваемой как система с сосредоточенными параметрами.

Расчет нестационарного теплового режима системы приведен для цилиндрической экранной изоляции. Аналогичные соотношения могут быть получены для плоских экранов.

На внутренней границе изоляции приняты граничные условия первого рода. Начальная температура элементов системы считается известной. Температуры изолируемого объекта и окружающей среды являются функциями времени.

В предлагаемой методике возможен простой переход от граничных условий первого рода на поверхности изолируемого тела к условиям второго рода.

Тепловой баланс экранов и корпуса, который рассматривается как последний экран, имея в виду схему изоляции (рис. 1) и граничные условия, запишется

$$(T_{i-1} - T_i) \alpha'_i F_i = (T_i - T_{i+1}) \alpha_i F_i + \frac{\partial T_i}{\partial \tau} C_{Vi} V_i, \quad (1)$$

где  $i = 1, 2, \dots, N$ ;

$\alpha'_i, \alpha_i$  — приведенные коэффициенты теплоотдачи с левой и правой сторон экранов;

$C_{Vi}$  — объемная теплоемкость материала экранов;

$F'_i, F_i$  — внутренняя и внешняя поверхности экранов;

$V_i$  — объем экрана;

$T_i$  — средняя температура  $i$ -го экрана.

При вычислении приведенных коэффициентов теплоотдачи принято: теплообмен между экранами происходит за счет излучения и теплопроводности воздуха; естественная конвекция из-за незначительного расстояния между экранами отсутствует; потоки теплоты через дистанционные прокладки малы.

Коэффициент теплоотдачи справа для экранов и изолируемой трубы ( $i=0$ )

$$\alpha_i = C_{пр} \Theta_i + \frac{\lambda_i}{\Delta_i}, \quad (2)$$

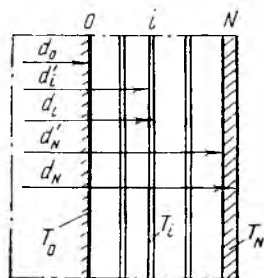


Рис. 1. Схема цилиндрической экранной изоляции

где

$$C_{пр} = \frac{C_0}{\frac{1}{\varepsilon_i} + \left( \frac{1}{\varepsilon_{i+1}} - 1 \right) \frac{d_i}{d'_{i-1}}}; \quad (3)$$

$$\Theta_i = \frac{T_i^4 - T_{i+1}^4}{T_i - T_{i+1}} \cdot 10^{-8} = (T_i^3 + T_i^2 T_{i+1} + T_i T_{i+1}^2 + T_{i+1}^3) \cdot 10^{-8}; \quad (4)$$

$$\Delta_i = \frac{d_i}{2} \ln \frac{d'_{i+1}}{d_i}; \quad (5)$$

$\varepsilon'_i, \varepsilon_i$  — степени черноты на левой и правой сторонах элементов системы изоляции;

$d'_i, d_i$  — внутренний и внешний диаметры экранов,

$$d_i = d_0 + 2(\delta_a + \delta_b) i; \quad (6)$$

$$d'_i = d_i - 2\delta_a; \quad (7)$$

$\delta_a$  — толщина листов экранов;

$\delta_b$  — величина воздушного зазора между экранами;

$\lambda_i$  — коэффициент теплопроводности воздуха, вычисляется по средней температуре в зазоре.

В интервале температур 300—900 К, следуя (4), можно принять линейную зависимость для  $\lambda$

$$\lambda_i = 0,00822 + 3,187 \cdot 10^{-5} (T_i + T_{i+1}). \quad (8)$$

Коэффициент теплоотдачи для левой границы экранов

$$\alpha'_i = \alpha_{i-1} \frac{d_{i-1}}{d'_i}. \quad (9)$$

Коэффициент теплоотдачи для защитного корпуса, считая, что теплообмен с окружающей средой осуществляется за счет излучения и естественной конвекции, запишется

$$\alpha_N = \varepsilon_N C_0 \Theta_N + A (T_N - T_c)^{1/4}, \quad (10)$$

где

$$A = \frac{0,81 \lambda_c}{(T_c \nu_c^2 d_N)^{1/4}}, \quad (11)$$



остальные уравнения этой системы остаются без изменения.

Выбирая шаг по времени такой длительности, чтобы температура экранов для двух смежных моментов времени отличалась в пределах (2—5) %, можно коэффициенты теплоотдачи, а следовательно, и коэффициенты  $m$  и  $n$  вычислять по температуре в предыдущий момент времени. В этом случае система (13) приводится к системе  $N$  линейных алгебраических уравнений с  $N$  неизвестными. Решение такой системы выполняется по стандартной программе.

В системе (13) температура рассматриваемого экрана в момент времени  $k$  определяется температурами смежных экранов в этот же момент времени.

Предложенная методика расчета экранной изоляции свободна от обычно принимаемых допущений, снижающих точность определения тепловых потерь, и реализуема при любых граничных условиях на поверхности объекта и защитного кожуха.

В качестве иллюстрации предложенной методики приводится пример расчета экранной изоляции трубопровода, выполненный на ЭВМ «Наири».

**Пример.** Установить изменение температуры экранов и величину тепловых потерь трубопровода в процессе прогрева системы. Геометрические размеры (мм):  $d_0=160$ ,  $\delta_b=5$ ,  $\delta_a=0,8$ ,  $\delta_N=2$ . Число экранов — 5. Теплоемкость экранов и корпуса  $C_{Vi}=2,43 \cdot 10^6$  Дж/(м<sup>3</sup>·К),  $C_{VN}=3,9 \cdot 10^6$  Дж/(м<sup>3</sup>·К). Степени черноты:  $\epsilon_0=\epsilon_N=\epsilon_z=0,8$ ,  $\epsilon_i=0,2$ . Начальная температура экранов и корпуса  $T_n=300$  К. В начальный момент времени принимаем, что температура трубы  $T_0=700$  К и поддерживается постоянной.

Результаты расчетов показаны на рис. 2.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хижняков С. В. Практические расчеты тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов.— М.: Энергия, 1976 — 230 с.
2. Ковалевский В. И., Бойков Г. П. Методы теплового расчета экранной изоляции.— М.: Энергия, 1974.— 200 с.
3. Ильченко О. Т. Расчеты теплового состояния конструкций.— Харьков: Вища школа, 1979.— 168 с.
4. Теплотехнический справочник, т. 2 / Под ред. В. Н. Юренева и П. Д. Лебедева.— М.: Энергия, 1976.— 896 с.

Представлена кафедрой  
общей теплотехники